

SUDANSKA TRAVA - ENERGETSKA BILJKA ZA PROIZVODNJU BIOPLINA**SUDAN GRASS - ENERGY CROP FOR BIOGAS PRODUCTION****D. Kralik, Ana-Marija Elter, S. Kukić, Nataša Uranjek, R. Spajić**

Izvorni znanstveni članak
Primljeno: 20. svibanj 2009.

SAŽETAK

Zbog izrazito visokog prinosa zelene mase, sudanska trava (*Sorghum sudanense* L.) postaje zanimljiva kultura koja može zamijeniti silažni kukuruz u bioplinskim postrojenjima.

Sudanska trava je jednogodišnja visoka trava, daje izuzetno visoke prinose kvalitetne zelene mase koju možemo koristiti kao zelenu krmu, sjenazu ili silažu. U provedenim istraživanjima ostvarena je proizvodnja sudanske trave od 82 tone po hektaru. Zbog visokog prinosa sudanske trave moguće je ostvariti istu proizvodnju silaže na samo 60% površina koje smo koristili kod proizvodnje kukuruzne silaže. Pomoću sudanske trave ostvariv je veći prinos biomase nego uzgojem kukuruza a energetska potencijal u proizvodnji bioplina je isti.

Svinjskoj gnojovki dodano je 10% sudanske trave (ST) a kontrolnu skupinu (K) čini svinjska gnojovka bez dodataka. Sve skupine su postavljene u tri ponavljanja. Proces anaerobne fermentacije odvijao se u diskontinuiranom procesu pri mezofilnim uvjetima (40 °C) uz retencijsko trajanje od 60 dana.

Prosječna ukupna proizvodnja bioplina kod supstrata s dodatkom ST iznosi 13.720 ml l⁻¹, a ostvarena proizvedena količina bioplina u kontrolnoj skupini iznosi 9.320,00 ml l⁻¹.

Proizvodnjom sudanske trave neće se ugroziti proizvodnja hrane i proizvodnja krmnih kultura jer ostvaruje veći prinos biomase nego kukuruz i dobra je kultura za postrne uvjete. Dokazano je da se dodavanjem sudanske trave, radi poboljšanja svojstava gnojovke, a u cilju proizvodnje bioplina, povećana je količina proizvedenog bioplina za 32%. Statistički značajne razlike u koncentraciji metana između skupina nisu utvrđene, tj. dodavanjem biomase ne ugrožava se energetska kakvoća bioplina.

Ključne riječi: bioplin, sudanska trava, energetske biljke

Prof. dr. sc. Davor Kralik, Ana-Marija Elter, dipl.ing. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Trg. sv. Trojstva 3, HR-31000 Osijek; Srećko Kukić, dipl. oec. - Bioplin - Baranja d.o.o., Tina Ujevića 7, HR-31327 Bilje; Nataša Uranjek, dipl. ing. - Žito d.o.o., Đakovština 3, HR-31000 Osijek; Robert Spajić, Belje d.d., Industrijska zona 1, Mece, HR-31326 Darda, Hrvatska.

UVOD

Sudanska trava ili SuSu – hibridna sorta, odlične otpornosti na sušu, visokog udjela lisne mase, je biljka koju neki smatraju zasebnom vrstom, a koristi se za ishranu stoke košnjom i napasivanjem te u novije vrijeme i za križanje sa zrnašem za dobivanje hibrida krmnog sirka.

Jednogodišnja biljka, nema podzemne vriježe (podanak) i u našim uvjetima nema mogućnosti prezimljenja. Sudanska trava se širi samo sjemenom, novi hibridi se vrlo dobro nabusavaju i imaju brži porast, bogat lišćem, visok tip rasta, veću produktivnost i prilagodbu za određeni način upotrebe. Tanje stabljike u mladim biljkama su meke i sočne te sadrže slatki sok, zbog čega ih stoka rado jede. Dobro se obnavlja nakon košnje dajući 2-4 otkosa kvalitetne krme. Kod novih hibrida križanjem je smanjena 3 i više puta količina durina, (glikozid koji može izazvati probavne smetnje u ishrani stoke), pa ga u masi višoj od 80 cm praktički i nema. Sudanska trava je otpornija (od kukuruza) na sušu, bolesti i štetnike, a naročito na žičnjake, ali ima velike zahtjeve prema toplini. Za klijanje i nicanje treba temperaturu od 12 °C, a neki hibridi i više, na višim temperaturama brže niče, a temperature ispod -2 °C nepovoljno djeluju na biljku. Optimalna temperatura za rast i razvoj je 25 °C i više. Prema tlu, sudanska trava, ima manje zahtjeve u odnosu na kukuruz i uspijeva na svim tipovima tla od suhih i pjeskovitih do teških i ogoljenih. Za visoke prinose dobar predusjev sudanskoj travi su: lepirnjače, kupusnjače i žitarice. Može se uzgajati i kao glavni (sjetva početkom svibnja), naknadni (sjetva krajem svibnja ili u lipnju) i kao postrni usjev (sjetva iza strnih žitarica ili uljarica). Norma sjetve iznosi 30-33 kg ha⁻¹ ili 17-19 kg k.j.⁻¹ Dubina sjetve je 3-6 cm. Zbog visokog prinosa biomase po hektaru sudanska trava predstavlja zanimljivu kulturu za proizvodnju bioplina

MATERIJAL I METODE

Za potrebe pokusne proizvodnje odabrano je polje u mjestu Jagodnjak, Osječko-baranjska županija, površine 1870 m² i prilikom sijanja korištena je četveroredna sijačica OLT PSK-4, sjemenje je zasijano na međuredni razmak od 70 cm, a razmak između biljaka je bio 5-7 cm. Sjeme SuSu proizvođača Sjemenarna Zagreb d.o.o., u količini od 4 kg, posijano je kao postrni usjev nakon ječma 6. lipnja 2007. godine. Utvrđivanje prinosa određeno je na principu otkosa tri m² na tri različite lokacije. Utvrđen je prinos u masi, broju stabljika i visini stabljike.

Mogućnost proizvodnje bioplina istraživana je u tri skupine: svježoj svinjskoj gnojovci s dodatkom 10% kukuruzne silaže (KS), svježoj svinjskoj gnojovci s dodatkom 10% sudanske trave (ST) i kontrolnoj skupini - svježa svinjska gnojovka bez dodataka (K). Sve skupine su postavljene u tri ponavljanja. Anaerobna fermentacija odvijala se u diskontinuiranom procesu pri mezofilnim uvjetima (40 °C) uz retencijsko vrijeme od 60 dana. Udio suhe tvari (DM) određen je sušenjem 100 g svježe tvari gnojiva u sušioniku na 75 °C do konstantne mase (Thompson, 2001). Ukupni sadržaj pepela i organske tvari određen je žarenjem na 550 °C tijekom 2 sata (Thompson, 2001). Proizvedeni bioplin je kroz zasićenu otopinu prikupljan u potopljenim graduiranim posudama i svakodnevno je očitana količina plina. Proizvedeni plin analiziran je plinskim kromatografom Varian 3900 prema modificiranoj metodi HRN ISO 6974-4:2000. Plinskom kromatografijom detektiran je udio: N, CO₂, i CH₄.

Normalnost raspodjele testirana je Kolmogorov-Smirnovljevim testom. Za istraživanje razlika između dviju nezavisnih skupina upotrijebljen je Mann-Whitney U test (post hoc Bonferroni). Korišten je programski sustav SAS 9.1 for Windows (Copyright® 2002-2003 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. SAS® 9.1). Za ocjenu bitnosti dobivenih rezultata odabrana je razina bitnosti $\alpha=0,05$.

REZULTATI I RASPRAVA

Branje i sjeckanje usjeva izvršeno je 75. dana nakon sjetve, za što je korišten jednoredni berač kukuruza. Utvrđene morfološke vrijednosti prikazane su na tablici 1.

Prosječna visina biljke je 2,13 cm što je za 27 cm više od navoda Bhatta (Bhatta, 2006).

Broj dana od nicanja do metličanja je 74,4 dana, što je za 2,3 dana ranije od standarda, otpornost na polijeganje (ocjena 1-9) je 7,2 za sortu, što je za 0,1 veća od standarda. Iz izvršenih istraživanja na osnovi prosječnih vrijednosti prinos sudanske trave po jednom hektaru iznosio bi 82 tone i to u izrazito sušnoj godini. Treba napomenuti da su uobičajeni prinosi sudanske trave od 80 do 100 t ha⁻¹. Već ovi prvi podaci pokazuju kako je ovaj usjev izuzetno prilagodljiv te da bez obzira na otežavajuće okolnosti daje odličan prinos. Usporedba troškova proizvodnje sudanske trave i kukuruzne silaže prikazana je na tablici 2.

Tablica 1. Utvrđene morfološko biološke osobine sudanske trave**Table 1. Determined morphological features of Sudan grass**

	1 mjerenje 1 measure	2 mjerenje 2 measure	3 mjerenje 3 measure
Broj biljaka po m ² - Plant number in m ²	63	57	62
Prosječna visina biljke (m) - Average plant height (m)	2,07	2,13	2,19
Ukupna masa biljaka (kgm ⁻²) - Total plant weight (kgm ⁻²)	8,3	7,35	8,95

Tablica 2. Izračun troškova proizvodnje sudanske trave i kukuruzne silaže**Table 2. Calculation of production costs of Sudan grass and maize silage**

Troškovi - Costs	Sudanska trava Sudan grass	Kukuruzna silaža* - Maize silage*		
		Prinos - Yield		
		niži lower	srednji medium	viši higher
NPK 7:20:30 količina - quantity	600 kg/ha	400 kg/ha	600 kg/ha	800 kg/ha
NPK 7:20:30 iznos u KN - Amount in KN	1.596,00	1.064,00	1.596,00	2.128,00
NPK 15:15:15 količina - Quantity	200 kg/ha	150 kg/ha	200 kg/ha	200 kg/ha
NPK 15:15:15 iznos u KN - Amount in KN	428,00	321,00	428,00	428,00
UREA 46 N količina - Quantity	200 kg/ha	200 kg/ha	250 kg/ha	300 kg/ha
UREA 46 N iznos u KN - Amount in KN	336,00	336,00	420,00	504,00
Ukupno gnojivo - Total fertilizer:	2.360,00	1.721,00	2.444,00	3.060,00
Cijena sjemena - Seed price (kn/kg)	20,00	20,00	20,00	20,00
Potrebna količina sjemena (kg/ha) Required seed quantity (kg/ha)	30,00	30,00	30,00	30,00
Ukupno sjeme- Total seed:	600	600	600	600
Troškovi mehanizacije - Mechanization costs	1.000,00	1.467,19	1.712,60	1.938,22
Troškovi branja - Harvest costs	900,00	900,00	900,00	900,00
Troškovi zaštite - Protection costs	0	850,26	850,26	850,26
Ukupno troškovi - Total costs:	4.860,00	5.538,45	6.506,86	7.348,48
PRIHODI - INCOME				
Prinos - Yield (t/ha)	82,00	28,57	40,00	51,42
Cijena po toni - Price per ton (kn)	112,50**	146,00**	146,00**	146,00**
Ukupno cijena po ha - Total price per ha	9.225,00	4.171,22	5.840,00	7.507,32
Čista dobit po ha - Net profit per ha	4.365,00	-1367,23	-666,86	158,84

*Katalog kalkulacija poljoprivredne proizvodnje, Hrvatski zavod za poljoprivrednu savjetodavnu službu (2004.)

*Catalog of calculations of agricultural production, Croatian Agricultural Extension Institute (2004)

** cijena ostvarena u 2008.- ** Price realized in 2008

Iz priloženog izračuna može se zaključiti da je proizvodnja sudanske trave vrlo unosna s obzirom na odnos uloženog i dobivenog jer čista dobit iznosi oko 47% od ukupnog prihoda.

Naročito je zanimljivo što je sudanska trava zasijana kao postrni usjev i na taj način nije ugrožena proizvodnja hrane za ljude i životinje. Proizvodnja kukuruzne silaže prema kalkulacijama Mikšić i sur. (2004) nije se pokazala rentabilna s niskim i srednjim prinosom a kod prinosa višeg od 51,42 t ha⁻¹ ostvarena je minimalna dobit.

Tablica 3. Udio suhe i organske tvari (%)

Table 3. Share of dry and organic matter

	Vrsta supstrata - Substrate type	Suha tvar Dry matter (DM)	Organska tvar Organic matter (OM)	pH
I	Kontrolna (K) svinjska gnojovka Control (K) pig manure	2,22	79,87	7,15
II	ST (svinjska gnojovka + 10% sudanske trave) ST (pig manure + 10% Sudan grass)	4,03	81,75	6,86
III	KS (svinjska gnojovka + 10% kukuruzne silaže) KS (pig manure + 10% maize silage)	4,83	84,13	5,67

Prosječni udio suhe tvari u cijeloj biljci sudanske trave iznosio je 22,25% dok je udio suhe tvari u isjeckanoj masi sudanske trave iznosio 20,47%. Udio ST u silažnom kukuruzu iznosio je 28,15% i u usporedbi s navodima Mikšića i sur. (2004) koncentracija ST je niža za 6,85%. Utvrđeni udio organske tvari u sudanskoj travi iznosio je 80,25% a u kukuruznoj silaži 96,03%.

U istraživanju proizvodnje bioplina korištena je svježja svinjska gnojovka s dodatkom 10% kukuruzne silaže (KS) i pokusna skupina s dodatkom 10% sudanske trave (ST). Kontrolna skupina (K) je svinjska gnojovka bez dodataka.

Utvrđena koncentracije ST u svinjskoj gnojovci iznosila je 2,2%, što je približno odgovara rezultatima istraživanja Benčević (1993), koji navodi da je koncentracija ST gnojovke u sabirnim jamama 2,6%. Koncentracija ST u biljci sudanske trave iznosi 20,47%, a prema Fribourg (1985) koncentracija ST je od 15 do 20 t ha⁻¹ Koncentracija ST u kukuruznoj

silaži iznosila je 28,15%, a prema literaturnim podacima Robowsky (1997) navodi da koncentracija suhe tvari iznosi 28-33%.

Omjer miješanja svinjske gnojovke i sudanske trave je 9:1, u istom omjeru dodana je KS svinjskoj gnojovci. Utvrđena koncentracija u pripremljenim pokusnim skupinama prikazana je na tablici 3.

Tijekom anaerobne fermentacije proces proizvodnje plina dinamički se mijenja prema fazama fermentacije i prema mikrobiološkoj aktivnosti.

Najveća proizvodnja bioplina ostvarena je kod supstrata s dodatkom KS s prosječnom ukupnom proizvodnjom bioplina od 18.333 ml l⁻¹, prosječna ukupna proizvodnja bioplina kod supstrata s dodatkom ST iznosi 13.720 ml l⁻¹, a najniža proizvodnja bioplina utvrđena je u kontrolnoj skupini (grafikon 1).

Značajne razlike su u količini plina između K i ST (Mann-Whitney; p<0,001), K i KS (Mann-Whitney; p<0,001) te između ST i KS (Mann-Whitney; p=0,033). Kod supstrata s dodatkom KS proizvodnja bioplina je veća za 33,6% u odnosu na proizvodnju iz supstrata s dodatkom ST. Međutim, koncentracije ST u KS bila je veća za 16%. Kada se dobiveni rezultati usporede s literaturnim rezultatima onda je prema navodima Bernika i sur. (2006) iz 1 kg suhe tvari od sudanske trave moguće proizvesti 0,45 m³ bioplina, a prema navodima Beck (1997) i Dulbić (1986) iz 1 kg suhe tvari od kukuruzne silaže moguće je proizvesti 0,41m³ bioplina. Wella (2008) navodi da je moguće iz 1kg suhe tvari kukuruzne

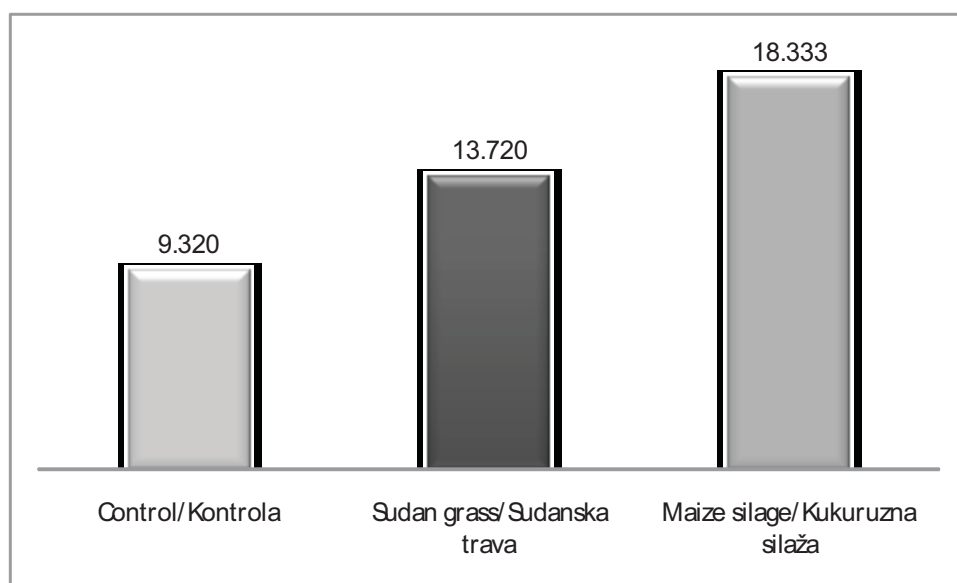
silaže proizvesti 0,64 m³ bioplina. Preračunavanjem dobivenih rezultata po 1 kg ST iz KS može se dobiti 0,705 m³ bioplina, a iz 1 kg ST od sudanske trave može se dobiti 0,758 m³ bioplina, što je bolje u odnosu na literaturne podatke.

Na osnovi prinosa iz tablice 2. moguća očekivanja količina bioplina po 1 ha prikazana je tablicom 4.

Prednost korištenja sudanske trave je visok prinos od 80 do 100 t ha⁻¹ dok se proizvodnja silažnog kukuruza kreće od 30 do 35 t ha⁻¹ (Bernika, 2006), iz čega proizlazi da je moguće ostvariti istu proizvodnju biomase na 3 puta manjim površinama. Iskoristivost površine na osnovi dobivenih rezultata i ostvariva dobit po 1 ha prikazana je na shemi 1.

Grafikon 1. Prosječna ukupna proizvodnja bioplina (ml l⁻¹)

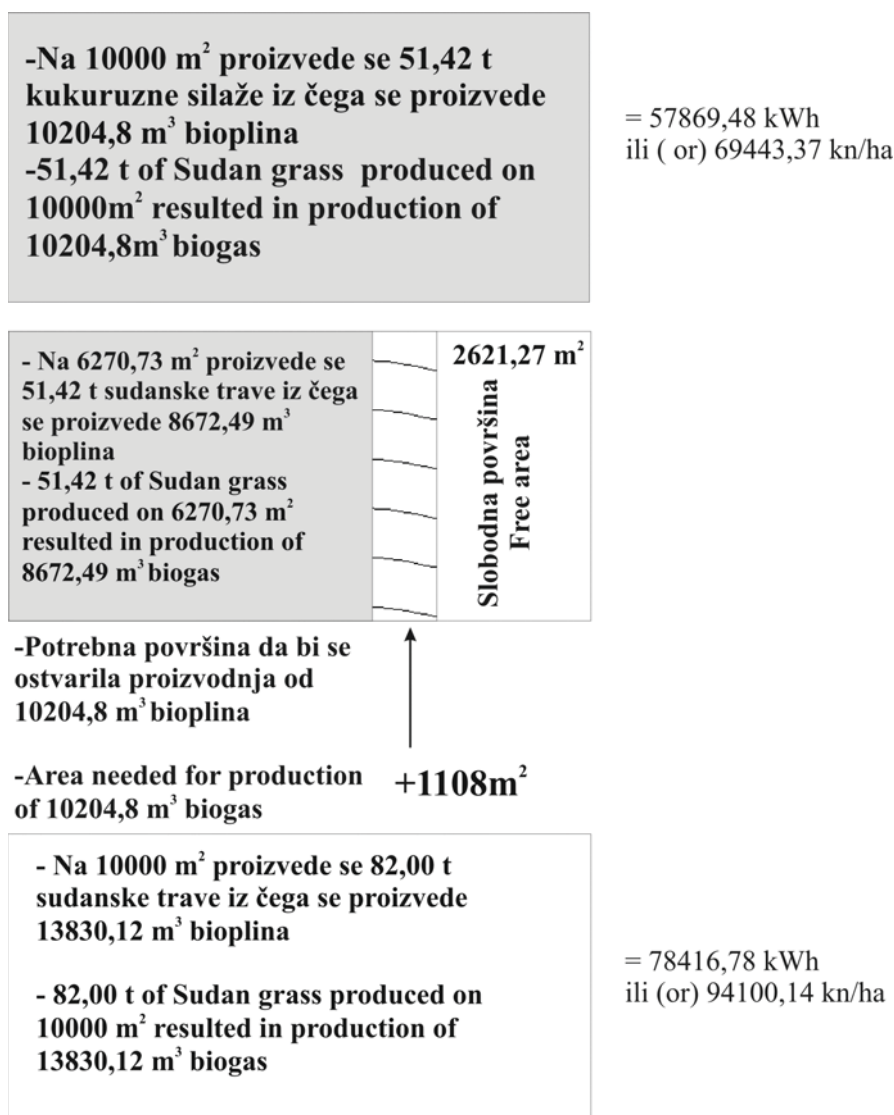
Graph 1. Total average biogas production (ml l⁻¹)



Tablica 4. Prinos bioplina po ha u ovisnosti s prinosom biomase

Table 4. Biogas productivity per ha depending on biomass yield

Vrsta biomase Biomass type	Količina biomase Biomass quantity (t ha ⁻¹)	Količina bioplina Biogas quantity (m ³ ha ⁻¹)
Kukuruzna silaža (niži prinos) Maize silage (lower yield)	28,57	5670,00
Kukuruzna silaža (srednji prinos) Maize silage (medium yield)	40,00	7938,40
Kukuruzna silaža (viši prinos) Maize silage (higher yield)	51,42	10204,81
Sudanska trava Sudan grass	82,00	13830,12

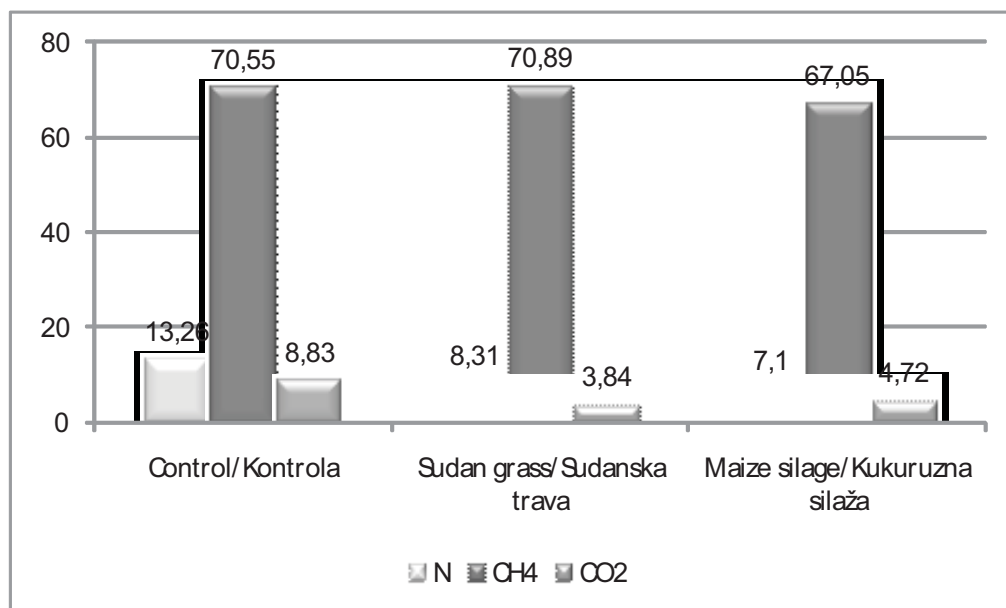
Shema 1. Odnos proizvodnih površina i proizvodnih rezultata**Schema 1. Relationship between production areas and production results**

Iz kukuruznog usjeva proizvedenog na 1 ha, moguće je proizvesti 10.204,8 m³ bioplina. Istu količinu bioplina moguće je proizvesti iz sudanske trave proizvedene na 7.378,73 m², pri čemu će se koristiti 26,21% manje površine u odnosu na kukuruzni usjev, iz čega zaključujemo da je moguće ostvariti veću dobit po 1 ha usjeva sudanske trave nego kukuruznog usjeva.

Bioplin je smjesa plinova čiji je glavni sastojak metan (CH₄), zatim ugljični dioksid (CO₂), vodik (H₂),

sumporovodik (H₂S), dušik (N₂) i amonijak (NH₃) u tragovima. Bukvić (2007) navodi da se prema različitim autorima koncentracija metana u bioplinu kreće od 40% do 75%.

Sastav plina dobiven tijekom istraživanja prikazan je na grafikonu 2. Koncentracija metana se kreće u granicama karakterističnim za bioplin, a razlike u koncentraciji metana nisu izrazite i statistički značajne.

Grafikon 2. Udio dušika, metana i ugljičnog dioksida u bioplinu(%)**Graph 2. Share of nitrogen, methane and carbon dioxide in biogas (%)**

ZAKLJUČAK

Ostvareni prinos sudanske trave od 82 t ha⁻¹ u izuzetno nepovoljnim sušnim uvjetima može se smatrati dobrim prinosom. Prednost uzgoja sudanske trave očituje se u mogućnosti uvođenja ove kulture u plodored; proizvodnjom sudanske trave neće se ugroziti proizvodnja hrane i proizvodnja krmnih kultura jer ostvaruje veći prinos biomase nego kukuruz. Dokazano je da se dodavanjem sudanske trave radi poboljšanja svojstava gnojovke, a u cilju proizvodnje bioplina, povećana količina proizvedenog bioplina za 32%. Statistički značajne razlike u koncentraciji metana između skupina nisu utvrđene, tj. dodavanjem biomase ne ugrožava se energetska kakvoća bioplina. Pogon za proizvodnju bioplina osigurava očuvanje okoliša i tehnološko rješenje za zbrinjavanje gnojovke i stajnjaka, a neiskorišteni otpad pretvara se u iskoristivu energiju te se smanjuju troškovi uvoza energije i naftnih derivata.

LITERATURA

1. Benčević, K. (1993): Biokont - osnove biološkog poljodjelstva, Zagreb
2. Bernik R., Zver, A. (2006): Rastlina kot obnovljivi vir energije (OVE) Acta agriculturae Slovenica, 87 - 2, 355 - 364
3. Bukvić Ž., Kralik D., Milaković Zlata, Gajčević Zlata, Vukšić, M. (2007): Influence of zeolite application in laying hen breeding on biogas production Cereal Research Communications, Volume 35, Number 2/June 2007, 301-304, 10.1556/CRC.35.2007.2.34
4. Burton, C. H., Turner, C. (2003): Manure management, Treatment strategies for Sustainable Agriculture, Silsoe Research Institute, Bedford, UK
5. Walla, C., Schneeberger, W. (2008): The optimal size for biogas plants, Biomass and Bioenergy <http://www.sciencedirect.com>
6. Fribourg, H., Heath, A., Barnes, M. E., Metcalfe, R. F., Forages, D. S. (1985): The Science of Grassland Agriculture. Iowa State University Press, Ames, Iowa. Chp. 31, pp. 278-286
7. Juhász, C., Petis, M., Biro, T., Kovacs, N. (2006): Methane and Carbon-dioxide concentration changes in animal and plant waste biomass. Cereal Research Communications Vol. 34, No. 1
8. Kirova, E., Nedeva, D., Nikolova, A., Ignatov, G. (2004): Changes in the electrophoretic spectra of

- antioxidant enzymes in nitrate-fed and nitrogen-fixing soybean subjected to gradual water stress *Acta Agronomica Hungarica*, 2004, Vol 52; Part 4, 323-332
9. Mikšić Marina, Murgić Nada, Borbaš Tatjana, Črep, R., Kantoci, N., Hrgović, S., Čuljak, L., Zagorac, D., Komljenović, J., Gržan, N., Kucjenić, Ž. (2004): Katalog kalkulacija poljoprivredne proizvodnje, Hrvatski zavod za poljoprivrednu savjetodavnu službu, 94-95.
 10. Robowsky, K. D., Hertwig, F. (1997): Zum Einsatz von Siliermitteln bei der Welksilierung. *Rekasan Journal*, Heft 7/8 110-112
 11. Thompson, W.H. (ed.) (2001): Test Methods for the Examination of Composting and Compost. The United States Composting Council Research and Education Foundation. The United States Department of Agriculture.

SUMMARY

Because of its distinctly high yield, Sudan grass (*Sorghum sudanense* L.) has become an interesting crop which can replace silage corn in biogas production plants. Sudan grass is an annual tall grass which gives distinctly high green mass yields that can be used as green fodder, hayage or silage. In conducted research, Sudan grass production amounted to 82 t/ha. Due to its high yield, it is possible to produce the same amount of silage on only 60% of land used for corn silage production. Sudan grass gives higher biomass yield than corn, and energetic potential for biogas production is the same. Pig manure was supplemented with 10% of Sudan grass (ST), and the control group (K) was pig manure without additives. All groups were set up in three repetitions. Anaerobic fermentation process proceeded discontinuously in mesophilic conditions (40 °C) with retention time lasting 60 days. Average total biogas production for substrate with addition of ST amounted to 13720 ml/l, and biogas production in the control group was 9320 ml/l. Sudan grass production will not jeopardize food production nor fodder crop production, because it gives produces higher biomass yield than corn and is suitable for stubble fields. It was determined that Sudan grass utilization for improvement of manure in biogas production increased the amount of biogas by 32%. Significant differences in methane content between groups were not determined, i.e. biomass addition did not jeopardize biogas energetic value.

Key words: biogas, Sudan grass, energy plants